

機関番号：34419

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560173

研究課題名 (和文) 高濃度パルプ繊維の分散評価技術の開発と分散流路内流れの繊維挙動

研究課題名 (英文) Development of evaluation techniques of dispersibility of high-consistency pulp-suspension and fiber behavior in dispersion ducts

研究代表者

角田 勝 (SUMIDA MASARU)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60113403

研究成果の概要 (和文)：流動中のパルプ液にスリット状の光を照射し、光切断された面内の繊維濃度分布を評価する技術を開発した。ついで、本濃度解析法をダクト内パルプ液流れに適用し、パルプ液中の繊維挙動には5つのパターンがあることを見出すとともに、紙の品質に影響を及ぼす流量と濃度むらとの関係を明らかにした。さらに、流路中に分散板を挿入した場合について、繊維の分散特性を求めて、抄紙機ヘッドボックスの最適化を図る資料を作成した。

研究成果の概要 (英文)：An optical measuring method for evaluating the fiber concentration was developed for flowing pulp liquid. This method was applied to a fully developed steady flow in ducts with a square cross section. It is found that the flow mechanism of pulp-suspension in ducts can be classified into five patterns. Moreover, the relationship between the degree of uniformity of the fiber concentration and the flow rate was made clear. In addition, visualization and fiber-concentration measurements of wakes from the partition plates inserted in ducts were executed and useful basic data for the optimization of headbox of the papermaking machine were presented.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：混相流、パルプ・紙、繊維濃度、流体計測、後流、ヘッドボックス

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球温暖化防止に関する京都議定書によって製紙産業界に課せられている10%の削減目標を達成するためには、脱水設備の小型化と省エネルギーを計るべく、高濃度パルプ液中でも繊維分散が可能となる技術開発が

急務となっている。しかしながら、パルプ繊維の分散を評価する方法についてさえも未だ確立されておらず、パルプ繊維の挙動を把握するためにも的確な濃度評価技術と解析手法の提案が強く求められている。

(2) 紙品質の向上のためには、抄紙機を構成するパートの中でもヘッドボックスの形状およびその中のパルプ流れ特性が極めて重要で、主要な研究課題の一つとなっている。

(3) パルプ液流れの流動特性を調査することは大変難しく、これを扱った研究報告は極めて少ない。

2. 研究の目的

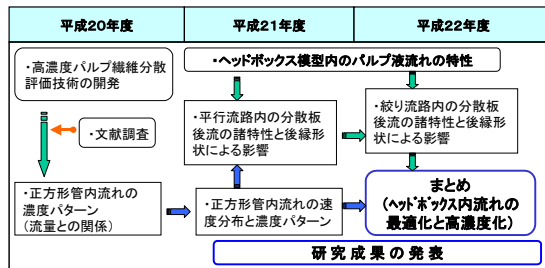
(1) 光切断法を用いてパルプ液流れの可視化を行い、ついで濃度の評価方法を確立する。

(2) 抄紙機ヘッドボックスの流れへの適用を考慮して、まずは基本的な正方形管路内流れを取り上げる。すなわち、管内でのパルプ繊維挙動が流量の増加に伴っていかに変化し、従来の圧力損失と流量の関係に及ぼすパルプ繊維分散の様相について明らかにする。

(3) 実機においては流路に平板が挿入されてパルプ液の分散が図られ、また縮流されてシート状に噴出されていることから、平行流路および縮流流路に分散板を挿入した場合についてパルプ繊維濃度の軸方向変化や濃度むらの度合いを調査し、抄紙機ヘッドボックスの最適化を諮る資料を作成する。

3. 研究の方法

(1) 研究方法の概要：下図のような計画（平成20～22年度の3年間）で研究を実施した。



(2) 初年度には、文献調査を行いつつ、パルプ繊維の濃度を算出するアルゴリズムの開発、その瞬時の分布を表示する方法、ついで濃度のむらを定義する方法、さらには点計測法の結果との比較、ついで正方形管内流れの濃度パターンと流量との関係を考察した。その実施内容は以下の通りである。

① 供試流路には正方形断面流路を取り上げ、濃度評価される面内をスリット光切断して、撮影画像から光源むらを除去する方法を確立した（図1参照）。

② 流動中のパルプ液について、上述の補正画像から光源むらを除去して濃度評価用画

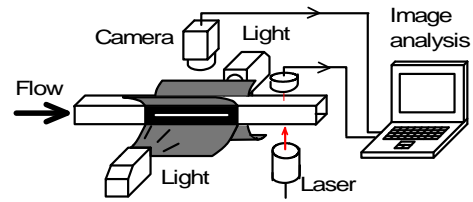


図1. パルプ繊維濃度評価試験装置の概要

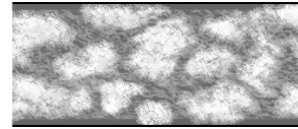


図2. 濃度むら（スケッチ図）

像を得るアルゴリズムを作成する。

③ 濃度評価用画像から濃度分布 $\alpha(x, y)$ を算定する解析手法、ついでその $\alpha(x, y)$ の標準偏差 $Crms$ を用いて濃度の高いフロック（繊維の塊）を見出す手法を開発する。

④ さらには濃度むら（図2）の度合いを示す指標値として、供試パルプ液濃度 Cs に対する $Crms$ の比 $Crms/Cs$ の値を取り上げることを提案する。

⑤ 以上の結果をレーザー光を用いた点計測透過法と比較し、面計測法による本解析手法の有用性と高効率化を検証する。

⑥ さらに、パルプ液流れの特性を本解析による濃度の分布やむらの度合いから検証して、圧力損失と流量との関係を繊維挙動の面から考察を行う。

(3) 平成21・22年度では正方形断面流路内の流れについて速度分布を求め、開発したパルプ繊維分散評価技術から得られた濃度情報と併せて、パルプ混相流の流動様式を明らかにする。また、これらの知見をもとに平行流路および絞り流路内に設置された分散板後流の繊維挙動について実験的研究を行った。実施内容は以下の通りである。

① 正方形断面流路内の流れについて、高精度ハイスピードPIVシステムを用いて速度計測を行って速度分布を求め、単相水流の場合と比較した。なお、供試パルプ液濃度が1%を超える場合には、超音波流速計を用いて速度計測を試行し、断面内の平均速度分布を求めた。

② 上述の正方形断面内流れの濃度パターンと速度分布におよぼす供試パルプ液濃度 Cs の影響について検討し、パルプ混相流の流動様式を明らかにする。

③ つづいて、平行流路に設置された挿入板の分散効果を、2種類の平板後縁形状（図3）について調べる。後縁形状には、後縁を直角に切り落として、はく離せん断層を形成しや

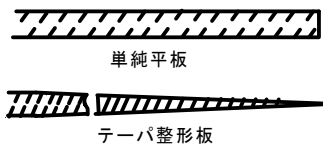


図3. 分散板後縁形状

すい単純平板、実機に対応したテーパのついた整形板を取り上げる。

④ これらの速度分布および濃度の時間平均や変動の分布についての管軸方向変化を調べて、パルプ繊維の分散過程とフロックの再生状況を明らかにする。また、パルプ液後流特性に及ぼす後縁形状の影響について、作動流体に空気を用いた結果とも比較しつつ、分散板後流の諸特性を取りまとめ、高濃度パルプ分散を図る資料を作成する。

⑤ さらに分散板の後流特性に及ぼす流路の絞り効果をみるために、約 15° の絞り流路について平行流路と同様な実験を行い、平行流路と絞り流路での結果を比較して、実機適用に際して高濃度繊維流の分散度を向上させる施策を提案する。

4. 研究成果

(1) パルプ液流れ中の繊維濃度分布を把握するために、光切断による光学的測定法を開発した。本解析法をダクト内パルプ液流れに適用し、パルプ繊維濃度があまり高くないパルプ液流れ ($C_s \leq 1.0\%$) では、本解析による濃度評価方法は光源の強さにかかわらず濃度分布を求めることができる有効かつ簡便な方法であることを示した (図4参照)。

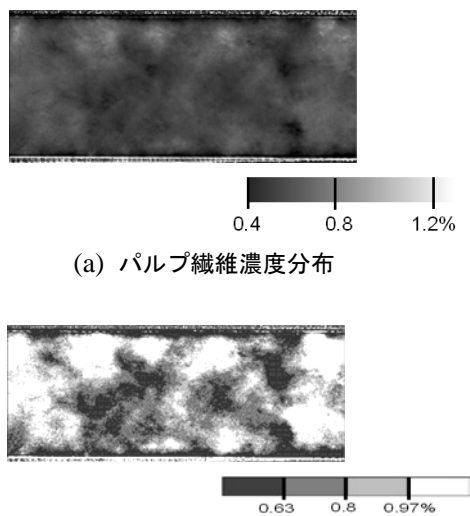


図4 濃度分布の一例 ($C_s=0.8\%$, $U_a=0.075\text{m/s}$)

本濃度解析法により、従来、定性的な観察に止まっていたパルプ繊維分散の状態を定量的に評価することが出来るようになった。

(2) ダクト内パルプ液流れは、従来、圧力損失と流量の関係から指摘されていた栓流、混合流、乱流という三つの分類のほかに、パルプ繊維の濃度分布および挙動の観点から、図5の模式図に示すように五つのパターンに大別することができる。

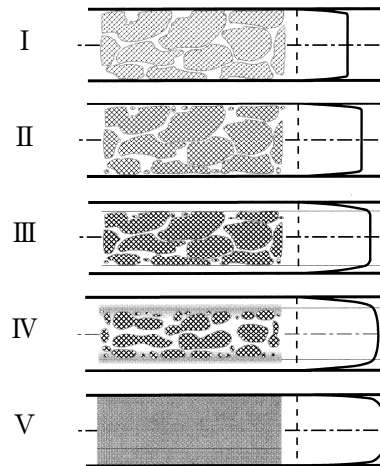


図5. パルプ液の流れパターン (I~V) (右図は速度分布の模式図)

(3) パルプ液流れの濃度むらを表す $\beta (=C_{rms}/C_s)$ は、調査したパルプ液濃度の範囲 ($C_s=0.4 \sim 0.8\%$) では C_s の値に関わらず、ダクト内平均流速 U_a が大きくなるにつれて、約 0.3 から 0.05 程度まで減少する (図6)。

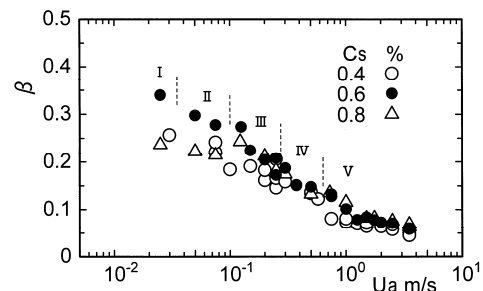


図6. 濃度むらと断面平均流速の関係

(4) 抄紙機ヘッドボックスの分散部をモデル化した、正方形断面ダクト内に挿入された平板の後流領域について可視化実験を行っ

てパルプ繊維濃度分布を調べたところ、上流部での流れパターン、すなわち挿入板壁面上に形成される水環部の流れと後縁ではく離せん断層との絡み合いで後流領域のパルプ液は複雑な繊維挙動を呈することを明らかにした (図 7)。

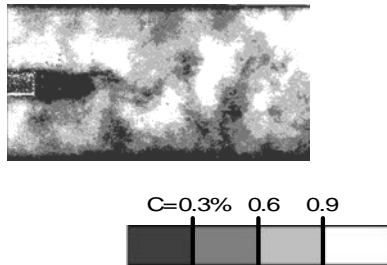


図 7. 平行流路内に挿入された分散板後流の濃度分布の一例 ($Ua = 0.20 \text{ m/s}$)

(5) また、抄紙機ハイドロリック型ヘッドボックス内をさらに実機に近いモデルである、絞り流路内の製紙用パルプ液流れについてパルプ繊維濃度測定を行い、比較的流速の場合では濃度の時間平均分布への回復は早いものの、濃度変動は絞り部内ではかなり大きくなることを見出した (図 8、9)。

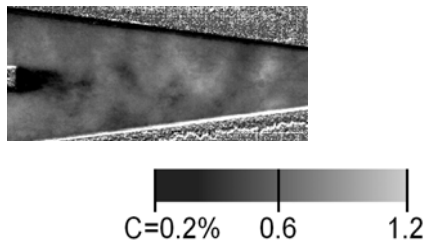


図 8. 絞り流路内に挿入された分散板後流の濃度分布の一例 ($Ua = 0.20 \text{ m/s}$)

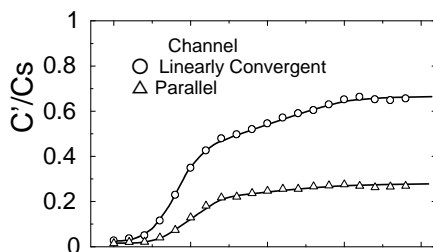


図 9. 流れ軸上の濃度変動 ($Ua=0.063 \text{ m/s}$)

以上から、単純平板では流路の絞りによって流れの一様化が図られても、加速された流れ場は後流で強いはく離流れになるため絞りによる整流効果はあまり望めない。

一方、テーパ整形板では挿入板の後に起こる流れの合流を滑らかにすれば、速度分布の一様化と乱れの減衰が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Masaru Sumida, Setsuo Suzuki, Flow Control of a Hydraulic Headbox of Papermaking Machines, Proceedings of The 2011 International Conference of Mechanical Engineering, 査読有, 2011. (掲載決定)
- ② Masaru Sumida, Setsuo Suzuki, Visualization Analysis of Flow in the Dispersion Section of a Headbox in Papermaking Machines, CD-ROM, Proceedings of The 11th Asian Symposium on Visualization, 査読有, 2011. (掲載決定)
- ③ 角田勝、藤本太郎、ダクト内パルプ液のパルプ繊維濃度の測定と流れ特性、日本機械学会論文集B編、査読有、76巻761号、2010、pp. 35-41.

[学会発表] (計 15 件)

- ① 角田勝、藤本太郎、蒲原隆浩、パルプサスペンションの工学的取り扱い、日本流体力学会中四国九州支部講演会、2010年12月4日、福岡大学。
- ② 角田勝、鈴木節夫、抄紙機ヘッドボックスの分散部における流れ特性、可視化情報学会全国講演会、2010年10月7日、霧島市。
- ③ 角田勝、藤本太郎、パルプ液流れの繊維濃度の測定に関する研究、日本機械学会2010年度年次大会、2010年9月8日、名古屋工業大学。
- ④ 藤本太郎、角田勝、製紙用パルプ液の流動への工学的アプローチ、日本機械学会関西支部第85期定時総会講演会、2010年3月16日、神戸大学。
- ⑤ 藤本太郎、角田勝、抄紙機ヘッドボックスモデル内のパルプ液流れ、日本混相流学会年会講演会、2009年8月9日、熊本大学。
- ⑥ 藤本太郎、角田勝、製紙用パルプ液の管路内流動特性に関する研究、日本機械学会関西支部第84期定時総会・講演会、2009年3月17日、近畿大学。

- ⑦ 角田勝、造田和蔵、藤本太郎、後流領域
における製紙用パルプ液の流動特性、
日本機械学会 2008 年度年次大会、2008
年 8 月 6 日、横浜国立大学.

他 8 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角田 勝 (SUMIDA MASARU)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60113403

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：